スリーブマウンテッド軸継手の押込みおよびスリップトルク試験結果について*

中 島 稔**

Pulling-up and Slip Torque Test Results
on the Shrink-fit Shaft Coupling Models of Marine Shafting

By Minoru Nakashima

Various useful data for designing of the shrink-fit shaft coupling of marine shafting have been obtained by the pulling-up and slip torque tests conducted on the coupling models.

1. ま え が き

現在の船舶の推進軸系の軸継手には、いろいろの特長をもつ軸継手が開発され実用に供されている。なかでも、軸端にフランジを設け、フランジ部に軸方向のボルト(リーマボルト、テーパボルト、モーグリッパボルトなど)によって、両フランジを締め付け、トルクの伝達は、ボルトのせん断力と締め付けによる両フランジ面の摩擦力によって伝える方法が、あらゆる船舶の軸継手として、一般に広く利用されているのが現状である。しかしこの方法による軸継手は以下に述べるような欠点を有している。

- (1) 締付ボルトのせん断力で軸のトルクを伝達する必要上、両フランジのボルト孔の加工精度、及びボルトのフランジ孔への取付方法の困難性
- (2) 軸抜きして軸を開放する際、締付ボルトの引抜き作業の困難性、及びボルトの損傷
- (3) テーパーボルトの際には、孔あけに特殊な加工治具の必要性と作業の困難性

以上のような欠点を有するフランジ式軸継手に代って、近年、一般商船及びCPPを装備する船舶の軸継手としての利用が拡大されつつあるOKカップリング(SKF社製)型式のものがある。

すなわち、二つの組合わせスリーブ構造で、内側の薄いインナースリーブと外側の厚肉の円筒型スリーブとからなり、インナースリーブの外表面はゆるいテーパに仕上げ、アウトースリーブの内径もそれに合ったテーパにし、アウトースリーブは、テーパのついたインナースリーブ上をスライドしながら締め付けていくことによってインナースリーブの内径が縮まって、その締め付け力によって軸の結合が行われてトルクを伝達する構造

である。

この方法による軸継手の利点は、

- (1) 軸の開放及び結合が非常に簡単に行える。
- (2) プロペラ軸の船外への引抜きも可能となる。
- (3) 軸の継手部に調整板を付けることによって、軸長の調整が可能である。
- (4) 軸継手部の直径をフランジ型に比べて小さくでき、船内のスペースを有効に活用できる。
- (5) 予備プロペラ軸との交換が容易である。
- (6) シャフトブラケット方式の船尾構造で船外軸を有する船の軸継手として利用できる。

国内では、この方式の軸継手が多く利用されているにもかかわらず、陸上での模型試験、ストリップトルク試験などの実験報告がなされていない。

そこで、これら一連の試験のために模型試験装置によって、安全性の確認試験などを行ったので、その試験結果の一端をここに報告する。

2. 供試カップリング及び実験装置

図1は模型カップリングの実験装置の組立図を示し、図2に供試模型カップリングを示す。適用軸径は370 mmφ、伝達馬力7600 PS、回転数200 rpmとして設計したものである。カップリングのアウトースリーブの材質は、クロムモリブデン鋼(SCM 435)、インナースリーブの材質は、アウトースリーブと同材質のSCM 435と、ニッケルアルミニウム青銅(AIBC 3)の2種類を使用して、比較実験を行った。図1に示すように、軸フランジ部に取りつけたレバーとアウトースリーブ端面に取りつけた油圧ラムにより、軸にねじりの偶力を与え、軸が周方向にスリップし始めたときの油圧ラムの圧力を読み取って、スリップトルクを計測できる構造とした。

* 原稿受付 昭和56年10月21日

** 正会員 ナカシマプロペラ(株)(岡山市上道北方688-1)

図1 実験装置組立図

図2 供試模型カップリング

3. 試験項目

次の事項の確認試験を行った。

- (1) 押込量と押込荷重の関係及び押込摩擦係数の確認
- (2) 押込量とスリップトルクの関係及びスリップ摩擦係数の確認
- (3) 押込量とアウトースリーブ外周面のフープストレスの関係
- (4) 押込量と引抜き荷重の関係及び引抜き摩擦係数の確認

4. 試験方法

4.1 押込み実験 押込み方法は、アウトースリーブの内面に設けた油溝を通じて、アウトースリーブとインナースリーブの接触面に油圧をかけ、摺動部に油を介した潤滑状態で押込む方法(wet fit)の方法で行った。

4.2 スリップ実験 押込量をそれぞれ変化させ、油圧ラムにより軸にねじりの偶力を与え、軸が周方向にスリップを始めたときの油圧ラムの圧力を読み取って、スリップトルクを求めた。

4.3 応力の測定 アウトースリーブ外周面にひずみゲージを貼付し、静ひずみ計により押込量をそれぞれ変化させた場合のひずみ率を測定して応力を求め計算値との比較を行った。

4.4 引抜き実験 押込み用の油圧ジャッキを後端方向にずらし、アウトースリーブ内面に設けた油溝に油圧をかけて、アウトースリーブを拡大すると、アウトースリーブはインナースリーブ外面を摺動して押込み前の状態に復帰する。アウトースリーブが後端方向に移動し始めるときの状態を、アウトースリーブ端面に取り付けたダイヤルゲージにより読み取り、それぞれの押込量におけるインナースリーブ内面に加えた圧力を読み取った。

5. 試験結果

5.1 押込摩擦係数の確認試験

図3は、イン

ナススリーブ材にAIBC 3を、又図4は、SCM 435を使用して試験を行ったときの押込量と押込荷重との関係実験点を示したものである。実験点を直線で結び計算で摩擦係数を求めると、wet fitの場合 $\mu=0.023\sim0.027$ となった。押込み量約10～15mm付近で折線となっているのは、ほぼその位置でインナースリーブが縮まり、スリーブの内面と軸外面とのクリアランスが零となることを示している。すなわち折線位置までの押込荷重は、インナースリーブを縮めるために必要な荷重であり、それを越すとトルクを伝達するに必要な有効押込量と押込荷重との関係を示している。

以下にインナースリーブ材がSCM 435の場合の摩擦

図3 押込量と押込荷重の関係
(インナースリーブ材質 AIBC 3)

図4 押込量と押込荷重の関係
(インナースリーブ材質 SCM 435)

係数の計算式を示す。

スリーブの内面と軸表面とのクリアランスが零になるまでの押込摩擦係数は次の(1)式で求められる。

$$\mu_1 = \frac{F_1}{P_{B1} \cdot S} - \frac{1}{2K} \quad (1)$$

ただし

$$P_{B1} = \delta \cdot \frac{E_a}{d_1} \cdot \frac{(K_i^2 - 1)}{2K_i^2} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{d_1 \cdot L_1 \cdot \alpha_2}{K \cdot d_2 (\alpha_1 + \alpha_4)} \quad (3)$$

次にスリーブが軸に接触してからの押込摩擦係数を μ_2 とすると

$$\mu_2 = \frac{F_2}{P_{B2} \cdot S} - \frac{1}{2K} \quad (4)$$

ただし

$$P_{B2} = \frac{L_2 \cdot (K_0^2 - 1) \cdot E_a}{K \cdot d_2 \cdot 2K_0^2} \quad (5)$$

5.2 すべり摩擦係数の確認試験 図5は、スリーブ材にAIBC 3を、また、図6は、スリーブ材にSCM 435を使用して試験したときの押込量とスリップトルクとの関係実験点を示したものである。

横軸に押込量(mm)を、また、縦軸にスリップトルク(ton-m)を示し細線は、計算によるすべり摩擦係数を参考のために示し、また、図中の $K_s=1.0$ は安全率1倍を示したものである。

押込みの方法はいずれも wet fit 法によって行った。試験の結果、スリーブ材にAIBC 3を使用したときのすべり摩擦係数は、 $\mu=0.16\sim0.20$ であり、また SCM 435

図5 押込量とスリップトルクの関係
(インナースリーブ材質 AIBC 3)

図6 押込量とスリップトルクの関係
(インナースリーブ材質SCM 435)

を使用したときは、すべり摩擦係数にバラツキが見られた。

この原因は定かでないが、接触面との間の金属のピック・アップや表面損傷が潤滑剤を通じておこり、摩擦こんや表面損傷、付着現象等の影響がAIBC 3材よりも大きいからではないかと考えられる。

ここにすべり摩擦係数を μ_s とすると、

$$\mu_s = \frac{2M}{P_A \cdot S_1 \cdot d_1} \quad (6)$$

ただし

$$P_A = \frac{P_{B_2} \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + 1} \quad (7)$$

スリップに対する安全率を K_s とすると、これは次の(8)式から求められる。

$$K_s = \frac{\mu_s \cdot P_A \cdot S_1 \cdot \frac{d_1}{2}}{Q_M} \quad (8)$$

ただし上記の計算式には、温度変化に対する諸係数を考慮に入っていない。軸、スリーブ及びアウトースリーブの材質が、異なる機械的性質の場合は、それぞれの性質を考慮に入れて計算することが必要である。

5.3 アウタースリーブの応力の測定試験

図7は、インナースリーブ材にAIBC 3を、図8は、スリーブ材にSCM 435を使用して試験したときの、アウタースリーブ外面の周方向のフープストレスと押込量との関係実験点を示したものである。

図中の一点鎖線は、計算によるフープストレスの値を示したものである。

両図とも、計算値と実験点は、よく一致していること

図7 押込量とアウトースリーブ外面応力との関係
(インナースリーブ材質AIBC 3)

図8 押込量とアウトースリーブ外面応力との関係
(インナースリーブ材質SCM 435)

から、厚肉円筒理論式をそのまま使用でき、また、外周のフープストレスを測定しながら押込みを行うと、押込量も推定できることが分った。

アウタースリーブの接線方向応力を β とするとこれは(9)式で求められる。

$$\beta = P_B \cdot \alpha_s \quad (9)$$

ただし

$$P_B = P_{B_1} + P_{B_2} \quad (10)$$

5.4 引抜き油圧試験 図9は、インナースリーブ材にAIBC 3を、また、図10は、インナースリーブ材にSCM 435を使用して試験したときの押込量と引抜き油圧との関係実験点を示したものである。

図中に示した一点鎖線は、アウタースリーブとインナースリーブとの接触面圧を計算で求めたものである。両図に示すように両者とも引抜きに要する油圧は、計算による接触面圧より約100 kg/cm²程度高くなっている。

6. 試験結果のまとめ

(1) 大形模型による押込試験、スリップトルク試験、引抜き試験及びアウタースリーブ外面のフープストレス

図9 押込量と引抜き油圧との関係
(インナースリーブ材質AIBC 3)

図10 押込量と引抜き油圧との関係
(インナースリーブ材質SCM 435)

の測定などを行って、実船への適用に必要な設計資料を得ることができた。

(2) インナースリーブと軸とのクリアランス量の設定に必要な設計資料を得ることができた。

7. あとがき

本模型試験から得られた数値に基づいて、実船用のNKSカップリングを数多く製作し、取付けを行って予期した成果が得られている。

特に軸の結合、開放などの軸系現場作業を軽減すると共に、所要時間を短くし、このための入きょ期間の短縮とあわせて、その利用によって大幅な改善が期待されるものと思われる。

最後に、実用化の試験のために、昭和51年度に(財)日本船用機器開発協会のご援助をいただいたことに対し、この誌上を借りて厚く御礼申し上げます。

8. 記 号

F_1 : インナースリーブ軸とのクリアランスが零になるま

での押込荷重(kg)

F_2 : インナースリーブと軸とのクリアランスが零になった後の押込荷重(kg)

S : インナースリーブとアウトースリーブ内面の接触面積(mm²)

S_1 : インナースリーブと軸との接触面積(mm²)

K : テーパーの逆数

K_i : d_2/d_1

K_0 : d_3/d_2

d_1 : 軸の直径(mm)

d_2 : インナースリーブの平均外径(mm)

d_3 : アウトースリーブの外径(mm)

E_A : 鋼材の縦弾性係数(kg/mm²)

α_1 : $\frac{K_i^2 + 1}{K_i^2 - 1}$

α_2 : $\frac{2K_i^2}{K_i^2 - 1}$

α_4 : $\frac{K_0^2 + 1}{K_0^2 - 1}$

α_6 : $\frac{2}{K_0^2 - 1}$

δ : 軸とインナースリーブのクリアランス(mm)

L_1 : インナースリーブが軸と接触するまでの押込量(mm)

L_2 : インナースリーブが軸と接触してからの押込量(mm)

Q_M : 主機定格出力時の平均トルク(kg-mm)

M : スリッパトルク(kg-mm)

P_A : 軸とインナースリーブとの接触面圧(kg/mm²)

P_B : 軸とインナースリーブとのクリアランスが零になるまでのインナースリーブとアウトースリーブの接触面圧(kg/mm²)

P_{B_2} : インナースリーブとアウトースリーブとのクリアランスが零となったときの接触面圧(kg/mm²)

P_B : インナースリーブとアウトースリーブとの接触面圧(kg/mm²)

文 献

- 1) 中島, 菅野, 舶機誌, 第8巻4号, S48-4, 222
- 2) 中島, 舶機誌, 第23巻9号, S53-9, 689
- 3) 清水篤磨著, 改訂, 材料力学, 249 P
- 4) THE BALL BEARING JOURNAL, NO. 157, 1967
- 5) KEYLESS BORE PROPELLERS EUROPEAN SHIPBUILDING, NO. 3, 1968
- 6) HYDRAULIC METHOD OF FITTING MARINE PROPELLERS INTERNATIONAL SHIPBUILDING PROGRESS, VOL. 17, NO. 193, SEP 1970
- 7) 久米, 舶機誌, 第12巻6号, S52-6, 418
- 8) 中島, 舶機誌, 第16巻10号, S56-10, 884
- 9) 森, 小石川, 上田, 舶機誌, 第8巻11号, S48-11, 806